

УДК 502/504:628.543

С.Л. БЕЛОПУХОВ, Д.В. КОЗЛОВ, Ю.А. БАРЫКИНА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

НОВЫЙ СОРБЕНТ (СЦЛ-1) ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Приводятся результаты испытаний нового адсорбента СЦЛ-1 для очистки воды от примесей тяжелых металлов, в частности, двухвалентных катионов меди, цинка и железа. Рассмотрено влияние температуры на сорбцию ионов при разных концентрациях исходного раствора. Установлена динамика сорбции, а с учетом зависимости скорости сорбции от температуры рассчитана кажущаяся энергия активации процесса сорбции. Показано, что адсорбент СЦЛ-1 обладает развитой микроструктурой и высокими сорбционными свойствами до 26 мг/г по отношению к ионам Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} . Установлено, что скорость сорбции ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} на адсорбенте СЦЛ-1 практически не зависит от температуры в интервале 10-40°C. Величина кажущейся энергии активации процесса сорбции, рассчитанная по температурным зависимостям, составляет $25,8 \pm 3,7$ кДж/моль, что указывает на внутридиффузионный механизм процесса сорбции. Сорбент можно регенерировать растворами карбонатов щелочных металлов, после 10-кратного процесса сорбция-десорбция прочностные и сорбционные свойства адсорбента не снижаются. Адсорбент может быть использован в статических или динамических системах водоочистки от ионов тяжелых металлов. Адсорбент экологически безопасен, и после регенерации его можно использовать, например, в качестве компонента грунта.

Очистка воды, тяжелые металлы, адсорбенты, медь, цинк, железо, химический анализ.

Введение. Очистка воды от ионов тяжелых металлов, в частности, ионов меди, цинка и железа, до требуемых значений, не превышающих предельно допустимые концентрации, остается актуальной задачей. Тяжелые металлы при попадании в почву образуют лабильные комплексные соединения, которые при взаимодействии с водой могут переходить в ионную форму, затем – в сельскохозяйственные культуры, накапливаться в разных частях растения, продукции переработки растительного и животного сырья, накапливаться в организме человека. Для очистки воды от ионов тяжелых металлов в настоящее время применяют сорбционно-ионообменные методы. Исследования, проводимые в последние годы по глубокой переработке отходов растительного сырья, показали возможность создания сорбентов для очистки газовых выбросов промышленных производств [1], получения высокоэффективных сорбентов из природного сырья.

Проблема очистки сточных вод от загрязнений ионами тяжелых металлов также является актуальной для лабораторных практикумов университетов, где в качестве реагентов используют соли тяжелых металлов. Например, в учебном процессе при проведении лабораторно-практических работ

по дисциплине «Физическая и коллоидная химия» расходуется более 20 кг медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, более 16 кг железного купороса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и более 7 кг сульфата цинка ZnSO_4 [2]. С целью снижения сбросов этих тяжелых металлов в сточные воды и канализацию в течение ряда лет на кафедре физической и органической химии проводятся работы по разработке новых адсорбентов. Предлагаемый адсорбент может быть использован в химической, нефтехимической, металлургической, текстильной отраслях промышленности и сельском хозяйстве для снижения концентрации тяжелых металлов в различных водных растворах. В то же время для сельского хозяйства областью применения адсорбента могут быть сельскохозяйственные предприятия, использующие фунгицидную обработку деревьев, кустарников и других растений медным, железным и цинковым купоросом. При этом рекомендуемое содержание в растворах катионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} составляет от 0,025 до 2,5 г/л, и только при однократной промывке опрыскивателя типа ОП-2000 в сточные воды попадает более 25 г по каждому из ионов. Применение, по нашему мнению, адсорбентов, которые обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к ионам тяжелых металлов, и последующая

регенерация сорбента позволят снизить экологическую нагрузку на объекты агросферы и дополнительно получать растворы с низкой концентрацией по ионам меди, цинка и железа. Такие растворы могут быть с успехом использованы в качестве растворимых микроудобрений при подкормках различных сельскохозяйственных культур, в том числе в приусадебном хозяйстве.

Материалы и методы исследований. В качестве адсорбента для последующих испытаний нами использован адсорбент, который ранее был применен для очистки газов [1]. Адсорбент готовили путем взаимодействия влажного каолина ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) как связующего, с продуктом, получаемым при термическом разложении льняной костры в течение 40 мин при температуре 600°C . Цвет адсорбента светло-серый, стабильный при дневном свете и искусственном освещении. Соотношение между каолином и продуктом разложения льняной костры (мас., %) составляет 30-40:70-60. Сорбция и ионообменные свойства проводили по стандартным методикам [3].

Определение массовой концентрации меди в воде проводили по ГОСТ 4388-72 (Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации меди). Использовали растворы в диапазоне концентраций от 0,02 до 0,5 мг/дм³, реактив диэтилдитиокарбамат натрия, светофильтр 430 нм.

Определение массовой концентрации цинка в воде проводили дитизионовым методом (колориметрический метод) по ГОСТ 18293-72 (Вода питьевая. Методы определения содержания свинца, цинка, серебра). Чувствительность метода – 5 мкг/дм³.

Определение массовой концентрации железа в воде проводили по ГОСТ 4011-72 (Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа). Измеряли массовую концентрацию общего железа при взаимодействии ионов железа в щелочной среде с сульфосалициловой кислотой с образованием окрашенного в желтый цвет комплексного соединения. Интенсивность окраски, пропорциональную массовой концентрации железа измеряли при длине волны 400-430 нм. Диапазон измерения массовой концентрации общего железа без разбавления пробы составил 10-2,00 мг/дм³ [3].

Результаты исследований. Одной из самых затратных статей при производстве сорбентов из природных материалов,

по сравнению с синтетическими, является использование дополнительных технологических операций по химической, механической, физической, термической обработке сорбентов как в отдельности, так и в комплексе, для повышения их удельной поверхности и сорбционной емкости. Например, сорбенты на основе бентонитовой глины и опилок в течение суток обрабатывают либо кислыми реагентами, такими, как фосфорная, соляная кислоты, либо щелочными агентами: гидроксидом натрия или карбонатом натрия, – после чего в течение нескольких часов сушат при температуре не менее 150°C . Таким образом, энергетические и временные затраты на приготовление такого рода сорбентов высоки.

В нашем случае мы используем сорбент, оба компонента которого однородны, получают путем простого смешивания, не требуют дополнительной сушки перед применением. Адсорбент СЦЛ-1 при соотношении (мас.) каолин: продукт термического разложения льняной костры как 30:70 и 40:60 термостоек до 250°C , что позволяет эксплуатировать его при очистке горячих растворов.

Для оценки механизма сорбции ионов металлов на адсорбенте и установления кинетики равновесия исследовали сорбцию при разных температурах. Определение сорбционной емкости адсорбента СЦЛ-1 проводили статическим методом при температурах 20, 30 и 40°C с использованием растворов с известной концентрацией по иону в интервале 50-1000 мг-ион/л. Время сорбции составило 0,5-24 ч. Погрешность опыта не превышала 10%. Количество сорбированного иона металла рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{равн}})V}{m1000}, \quad (1)$$

где A – сорбционная емкость (мг/г), $C_{\text{исх}}$; $C_{\text{равн}}$ – исходная и равновесная концентрации ионов металла в растворе соответственно (мг/л); m – масса навески сорбента (г); V – объем пробы, мл.

В исследованном интервале температур и концентраций зависимость величины A от C , где $C = C_{\text{равн}}$, хорошо описывается зависимостью

$$A = aC^3 + bC^2 + cC + d. \quad (2)$$

Установлено, что коэффициенты a и b имеют малые значения, которые в на-

ших опытах находятся соответственно в интервале $6,8-9,3 \cdot 10^{-8}$ и $0,9-2,4 \cdot 10^{-4}$. Основной вклад в изменение величины A вносит коэффициент c (0,11-0,16). Максимальная степень извлечения ионов Cu^{2+} на адсорбенте СЦЛ-1 составляет $23,6 \pm 0,9$ мг/г, что выше в 2,5 раза, чем на каолине. Для сорбции ионов цинка и железа A равна $24,8 \pm 1,1$ и $24,4 \pm 0,9$ мг/г.

Ранее было показано, что для выяснения механизма и кинетики сорбции экспериментальные данные могут быть представлены в виде зависимости $F - t$, где $F = Q_x/Q_{\max}$ – степень завершенности процесса, Q_x – емкость адсорбента по иону в момент времени t (мг/г); Q_{\max} – емкость адсор-

бента по иону в состоянии равновесия (мг/г); t – время эксперимента (мин). Далее по этим кинетическим зависимостям оценивали влияние температуры на процесс сорбции ионов из раствора [4]. Расчет кинетических кривых проводили с использованием программы MathLab 7.5.0. Установлено, что зависимость величины $F = f(t)$ хорошо описывается уравнением полинома 3-й степени:

$$F = at^3 + bt^2 + ct + d. \quad (3)$$

В таблице 1 представлены коэффициенты при каждом члене полинома для интервала 0-150 мин.

Таблица

Коэффициенты для уравнения полинома зависимости $F = f(t)$. Сорбция ионов меди

T, °K	a	b	c	d
293	$-5,6 \cdot 10^{-7}$	$9,4 \cdot 10^{-5}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$	-0,012
303	$-2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$9,9 \cdot 10^{-3}$	-0,0042
313	$-2,1 \cdot 10^{-7}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-0,0088

Ранее нами было показано, что значение коэффициента c пропорционально эффективной константе скорости реакции, в нашем случае – сорбции [5, 6]. При этом из данных таблицы следует, что коэффициент c увеличивается по мере роста температуры, и, следовательно, скорость сорбции в этом случае возрастает. Величины коэффициента c для катионов Zn^{2+} , Fe^{2+} при температуре 293°C соответственно равны $5,4 \cdot 10^{-3}$ и $5,7 \cdot 10^{-3}$. Однако малая абсолютная величина коэффициента c свидетельствует, что сорбция определяется, в основном, диффузионными факторами, механизм сорбции для исследованного интервала температур практически одинаков и не может быть охарактеризован как хемосорбция. Это можно объяснить близкими значениями ионных радиусов, которые для Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} составляют соответственно $0,96 \cdot 10^{-10}$; $0,74 \cdot 10^{-10}$; $0,78 \cdot 10^{-10}$ м, а также близкими значениями радиусов гидратированных катионов. Кроме того, по этой же причине нами не отмечены существенные различия в селективности к сорбируемому ионам.

Оценка динамики сорбции до достижения равновесного состояния и диффузионного характера при сорбции катионов на адсорбенте СЦЛ-1 в исследованном интервале может быть проведена по расчету энергии активации. Энергия активации можно рассчитывать, если полученные нами экспериментальные данные представить в виде:

$$-\ln(1 - F) = Z \cdot t + B, \quad (4)$$

где Z – кажущаяся константа скорости процесса сорбции; B – коэффициент, который соответствует отрезку при пересечении графика с осью ординат.

Кажущиеся константы скорости процесса сорбции при различных температурах определяли как тангенс угла наклона полученных зависимостей, затем рассчитывали кажущуюся энергию активации сорбции по уравнению Аррениуса:

$$k = A e^{-E_a/RT}, \quad (5)$$

где k – константа скорости химической реакции при температуре T (°K); A – стерический множитель, показывающий долю наиболее эффективных (приводящих к взаимодействию) столкновений молекул реагирующих веществ; E_a – энергия активации процесса, зависящая от природы взаимодействующих частиц [6].

В логарифмических координатах уравнение Аррениуса представляет собой прямую линию, отсекающую на ординате отрезок, равный $\ln A$, где тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс позволяет определить энергию активации:

$$\text{tg} \alpha = -E_a/R. \quad (6)$$

Подставив константы скорости процесса сорбции ионов, найденные по температурным зависимостям, можно вычислить

кажущуюся энергию активации процесса сорбции (E_a^*). В нашем случае кажущаяся энергия активации при сорбции катионов меди, цинка и железа составила $25,8 \pm 3,7$ кДж/моль.

Известно, что энергия активации диффузионных процессов обычно находится в диапазоне 10-40 кДж/моль, причем внешнедиффузионная кинетика характеризуется величинами энергии активации $E_a < 20$ кДж/моль, а внутридиффузионная – $E_a = 20-40$ кДж/моль [7]. Таким образом, полученные в наших опытах данные подтверждают преобладающее влияние внутренней диффузии гидратированных ионов на скорость сорбции на данном адсорбенте.

Таким образом, исследования сорбции двухвалентных катионов меди, цинка и железа на адсорбенте СЦЛ-1 показали, что данный сорбент с низкой стоимостью и развитой микроструктурой обладает высокими сорбционными свойствами до 26 мг/г. При этом сорбент можно регенерировать растворами карбонатов щелочных металлов, и по нашим данным, после 10-кратного процесса сорбция-десорбция прочностные и сорбционные свойства адсорбента не снижаются. Адсорбент может быть рекомендован к использованию в статических или динамических системах водоочистки от ионов тяжелых металлов. Если необходимо утилизировать адсорбент, то после регенерации его можно использовать, например, в качестве грунта.

Выводы

1. Установлено, что скорость сорбции ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} на адсорбенте СЦЛ-1 практически не зависит от температуры в интервале 10-40°C.

2. Величина кажущейся энергии активации процесса сорбции, рассчитанная по температурным зависимостям, составляет $25,8 \pm 3,7$ кДж/моль, что указывает на внутридиффузионный механизм процесса сорбции.

3. Сорбционная емкость адсорбента по катионам меди, цинка и железа составляет до 26 мг/г. Сорбционные и физико-механические свойства адсорбента сохраняются при многократной регенерации.

Библиографический список

1. Белопухов С.Л., Прохоров И.С., Гришина Е.А. Высокоэффективный сорбент для поглощения диоксида углерода // *Агроэкология*. – 2014. – № 1. – С. 62-64.

2. Белопухов С.Л., Немировская И.Б., Старых С.Э., Семко В.Т., Шнее Т.В. *Физическая и коллоидная химия. Лабораторный практикум: Учебное пособие / Под общ. ред. проф. С.Л. Белопухова*. – М.: Проспект, 2016. – 240 с.

3. Белопухов С.Л. *Химическая сертификация сельскохозяйственной продукции: Учебное пособие / С.Л. Белопухов, Н.П. Буряков, Т.В. Шнее; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева*. М., 2012. 160 с.

4. Воронюк И.В., Елисеева Т.В., Черникова И.Ю., Лобова Н.А. Влияние температуры на кинетику сорбции формальдегида низкоосновным манонообменником // *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2011. – Т. 11. Вып. 5. – С. 679-682.

5. Шнее Т.В., Кончиц В.А., Шевченко А.А., Белопухов С.Л. Исследование коллоидно-химических свойств зональных и солонцовых почв Омской области // *Бутлеровские сообщения*. – 2010. – Т. 21. № 7. – С. 74-77.

6. Шнее Т.В., Старых С.Э., Фёдорова Т.А., Маслова М.Д., Белопухов С.Л., Шевченко А.А. Изменение физико-химических свойств почвенных коллоидов в зависимости от ионного состава почвенного поглощающего комплекса // *Плодородие*. – 2014. – № 3 (78). – С. 33-35.

7. Маслова М.Д., Шнее Т.В., Белопухов С.Л., Байбеков Р.Ф. Исследование коллоидно-химических свойств солонцовых почв физико-химическими методами // *Плодородие*. – 2014. – № 2 (77). – С. 41-43.

Материал поступил в редакцию 27.10.2016 г.

Сведения об авторах

Белопухов Сергей Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Физическая и органическая химия»; ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8(499) 976-32-16; e-mail: belopuhov@timacad.ru

Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, проректор по инновационной работе, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тими-

рязева»; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8(499) 976-29-62; e-mail: kozlovdv@rgau-msha.ru

Барыкина Юлия Александровна, аспирант кафедры «Физическая и орга-

ническая химия»; ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8(499) 976-32-16.

S.L. BELOPUKHOV, D.V. KOZLOV, YU.A. BARYKINA

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow

NEW SORBENT (SCL-1) FOR WATER TREATMENT FROM HEAVY METALS

The article presents the tests results of a new adsorbent SCL-1. The adsorbent is used to treat water from heavy metal impurities – bivalent copper, zinc and iron cations in particular. The temperature effect on the sorption of ions was studied at different initial solution concentrations. The dynamics of absorption was established, and taking into consideration a temperature dependence of the absorption rate there was calculated an apparent energy of the sorption process activation. It is shown that the adsorbent SCL-1 possesses a developed microstructure and high sorption properties up to 26 mg/g relative to the ions Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} . It is established that the speed of ions Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} does not practically depend on temperature in the range 10-40°C. The value of the apparent activation energy of the sorption process calculated according temperature dependencies is 25.8 ± 3.7 kJ/mol. which indicates to the inter-diffusion mechanism of the sorption process. The sorbent can be regenerated by solutions of alkali metal carbonates. It was found that after a 10-fold sorption – desorption process strength and sorption properties of the adsorbent do not decrease. The adsorbent can be used in static or dynamic systems of water treatment from heavy metals ions. The adsorbent is environmentally safe and after regeneration it can be used as a soil component.

Water treatment, heavy metals, adsorbents, copper, zinc, iron, chemical analysis.

References

1. Belopukhov S.L., Prohorov I.S., Grishina E.A. Vysokoeffektivny sorbent dlya pogloshcheniya dioksida ugleroda // Agroecologiya. – 2014. – № 1. – S. 62-64.

2. Belopukhov S.L., Nemirovskaya I.B., Starykh S.E., Semko V.T., Shnee T.V. Fizicheskaya i colloidnaya himiya. Laboratornyy praktikum: Uchebnoye posobie / Pod obshch. Red. Prof. S.L. Belopukhova. – M.: Prospect, 2016. – 240 s.

3. Belopukhov S.L. Himicheskaya sertifikatitsiya sel'skokozyajstvennoj productsii: Uchebnoye posobie / S.L. Belopukhov, N.P. Buryakov, T.V. Shnee; Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federatsii, Rossijsky gosudarstvenny agrarny universitet – MSHA im. C.A. Timiryazeva, M. 2012. 160 s.

4. Voronyuk I.V., Eliseeva T.V., Chernikova I.Yu., Lobova N.A. Vliyanie temperatury na kinetiku sorbtsii formal'degida nizkoosnovny manionoobmennikom // Sorbtsionnye i hromatograficheskie protsessy. – 2011. – Т. 11. Vyp. 5. – S. 679-682.

5. Shnee T.V., Konchits V.A., Shevchenko A.A., Belopukhov S.L. Issledovanie col-

loidno-himicheskikh svoystv zonalnykh i solontsovykh pochv Omskoj oblasti // Butlerovskie soobshcheniya. – 2010. – Т. 21. № 7. – S. 74-77.

6. Shnee T.V., Starykh S.E., Fedorova T.A., Maslova M.D., Belopukhov S.L., Shevchenko A.A. Izmenenie fiziko-himicheskikh svoystv pochvennykh colloidov v zavisimosti ot ionnogo sostava pochvennogo pogloshchayushchego kompleksa // Plodorodie. – 2014. – № 3 (78). – S. 33-35.

7. Maslova M.D., Shnee T.V., Belopukhov S.L., Baibekov R.F. Issledovanie colloidno-himicheskikh svoystv solontsovykh pochv fiziko-himicheskimi metodami // Plodorodie. – 2014. – № 2 (77). – S. 41-43.

The material was received at the editorial office
27.10.2016

Information about the authors

Belopukhov Sergej Leonidovich, doctor of agricultural sciences, professor, head of the chair «Physical and organic chemistry»; FSBEI HE «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev»; 127550, Moscow, ul. Timiryazeva, 49; tel.: 8(499) 976-32-16; e-mail: belopuhov@timacad.ru

Kozlov Dmitry Vyacheslavovich, doctor of technical sciences, professor, pro-rector on innovation work, FSBEI HE «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev»; 127550, Moscow, ul. Timiryazeva, 49; tel.: 8(499) 976-29-62; e-mail: kozlovdv@rgau-msha.ru

Barykina Yulia Aleksandrovna, post-graduate student of the chair «Physical and organic chemistry»; FSBEI HE «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev»; 127550, Moscow, ul. Timiryazeva, 49; tel.: 8(499) 976-32-16.

УДК 502/504:622:574 (477.62)

Д.А. ДЖЕРЕЛЕЙ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, Украина

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА ПРИ РЕНОВАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА И ПУТИ ИХ РАЗРЕШЕНИЯ

Целью исследования является обоснование выбора оптимальных путей природообустройства при закрытии шахт Донецкого угольного бассейна. Методика исследования базируется на комплексном изучении влияния деятельности угольных шахт на экологическую обстановку в Донбасском регионе. На основе натурного обследования, архивно-библиографических и статистических данных, анализа реализованных и нереализованных проектов реконструкции исчерпавших свой ресурс угольных предприятий определяются пути их ликвидации. Выявлено, что процесс их закрытия требует больших материальных вложений и, если средств недостаточно, создает дополнительные проблемы для экологической обстановки в регионе. В то же время рациональное использование оставшегося после закрытия шахт оборудования, зданий и сооружений может способствовать решению проблем природообустройства. Дальнейшее использование уже имеющихся элементов материальной базы позволяет сохранить ранее созданные природоохранные системы и сэкономить средства для их оптимизации. В качестве перспективного направления в работе рассматривается размещение на базе недействующих или выработавших свой ресурс предприятий угольной промышленности центров хранения и обработки данных. Такой вариант реновации дает возможность максимально полно использовать имеющееся оборудование, здания и сооружения, предупредить загрязнение окружающей среды и решать проблемы природообустройства. Таким образом, угледобывающие индустриальные объекты, исчерпавшие свой ресурс, являются подготовленной промышленной основой, на которой можно создать современное рентабельное предприятие, например, ЦХОД. Шахтную промзону следует рассматривать как ценный и перспективный объект, диверсификация и реновация которого – один из наиболее коротких и эффективных путей снижения затрат на строительство и эксплуатацию новых предприятий, решения проблем природообустройства прилегающих территорий.

Реновация промышленных территорий, центры хранения и обработки данных, ЦХОД, закрытие угледобывающих предприятий, Донецкий угольный бассейн, природообустройство.

Введение. Проблема природообустройства при ликвидации угледобывающих промышленных комплексов, исчерпавших свой ресурс, является актуальной для многих регионов мира. Одним из таких регионов является Донецкий угольный бассейн, который характеризуется чрезвычайно высокой насыщенностью горнодобывающими и перерабатывающими промышленными объектами. Этот регион является также весьма густонаселенным. Так, по данным на 2012 год, на подрабатываемых шахтами территориях проживало около 20% городского населения Украины [1].

Добыча угля вызвала значительные природные нарушения в этом регионе. В первую очередь к ним относятся изменения гидродинамической структуры подземных вод, складирование огромного количества выданной на поверхность пустой породы. В массиве горных пород остались пустоты в очистных, капитальных и подготовительных выработках.

Материал и методы исследования. Методика исследования базируется на комплексном изучении влияния деятельности угольных шахт на экологическую обстановку